

高等院校土木工程专业系列教材
GAODENG YUANXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE XILIE JIAOCAI

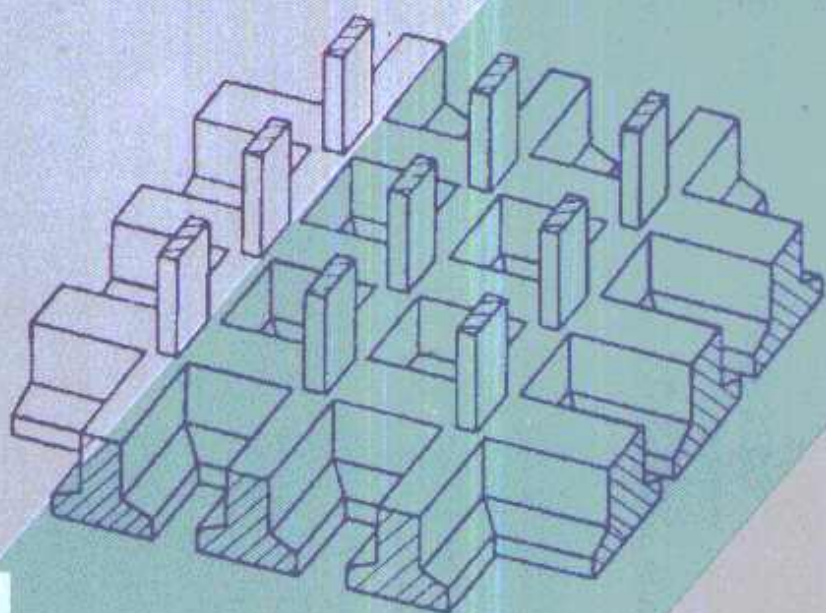
基础工程

j i c h u g o n g c h e n g

主 编：郑 刚

副主编：刘春原 窦远明 宋娃丽

主 审：顾晓鲁



中国建材工业出版社

TU47-43

257

高等院校土木工程专业系列教材

基 础 工 程

主 编 郑 刚
副主编 刘春原 窦远明 宋娃丽
主 审 顾晓鲁



A0926665

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

基础工程/郑刚主编. —北京: 中国建材工业出版社, 2000. 7
ISBN 7-80159-020-1

I. 基… II. 郑… III. 基础 (工程) - 高等学校 - 教材
IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 34821 号

内 容 提 要

本书共分八章, 主要内容包括: 浅基础、连续基础、桩基、沉井、地基处理、地震区地基基础和基坑工程等。

本书可作为高等学校建筑结构工程、道桥工程专业的教材, 也可供有关工程技术人员参考。

基 础 工 程

主 编 郑 刚

*

中国建材工业出版社出版 (北京海淀区三里河路 11 号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京密云红光印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14 字数: 320 千字

2000 年 7 月第一版 2000 年 7 月第一次印刷

印数: 1-3000 册 定价: 21.00 元

ISBN 7-80159-020-1/TU · 017

前 言

随着国家经济建设的发展和 21 世纪国家建设对专业人才的需求,我国近期对高等教育专业设置进行了较大幅度的调整,其中新设置的土木工程专业取代了过去的建筑工程、交通土建工程等四个相近专业。根据国家教育部门的安排,全国各高校从 1999 年起按新专业目录进行新生录取工作。建设部专业指导委员会也于 1999 年初下达了新土木工程专业的课程设置指导意见。比较而言,土木工程专业较过去各专业覆盖面要广泛得多,涵盖了原来近 8 个专业的内容,因此新专业的教学计划、课程内容调整以及新教材的编写就成为当前一项较为紧迫的任务。为适应这一形势的要求,河北工业大学、天津大学、天津城市建设学院等院校经过充分协商和研究,本着“探索、科学、先进”的原则和符合“大土木”的专业要求,联合编写了一套系列教材,由中国建材工业出版社出版并向全国发行。

本书由天津大学建筑工程学院土木工程系地基教研室郑刚主编,河北工业大学土建学院土木系刘春原、窦远明、宋娃丽为副主编,天津大学建筑工程学院顾晓鲁主审。参加编写的人员还有河北工业大学刘熙媛、王荣霞和河北建筑科技学院史三元。编写分工是:郑刚编写第一章、第四章、第八章;刘春原编写第七章;宋娃丽编写第二章;刘熙媛编写第三章;王荣霞编写第五章;史三元编写第八章。窦远明参加了各章的统稿和编写组织工作。天津大学建工学院纪颖波参加了部分章节插图的绘制与校对工作。

本书根据高等学校土木工程专业教材编写大纲进行编写,适当吸收了一些最新的成熟的研究成果。由于编写时间紧促,加上作者水平有限,书中可能存在不足和错误,恳请读者和同行批评指正。

在编写过程中,参考和引用了其它兄弟院校和专家的一些著作和教材,在此向原作者表示深深的致谢!

编 者

2000 年 6 月

第一章 绪 论

一、基础工程及其发展概况

将上部结构荷载传递给地基土、连接上部结构与地基土的下部结构称为基础。一般而言，基础多埋置于地面以下，但诸如码头桩基础、桥梁基础、半地下室箱形基础等均有一部分在地表之上。通常把基础埋置深度不大（一般小于 5m）、只需经过挖槽、排水等普通施工程序就可以施工的基础称为浅基础，而因浅层土承载力低、需把基础埋置于下部好的土层，或因地下空间的使用、高层建筑为保证建筑物抵抗水平力并防止倾覆的要求等，需把基础埋置于地表以下一定深度时（一般大于 5m），就称为深基础，如桩基、地下连续墙、沉井等。

基础的功能决定了基础设计必须满足以下几个基本要求：

1. 强度要求。通过基础而作用在地基上的荷载不能超过地基的承载能力，保证地基不因地基土中剪应力超过地基土强度而破坏，并且应有足够的安全储备；
2. 变形要求。基础的设计还应保证基础沉降或其它特征变形不超过建筑物的允许值，保证上部结构不因沉降或其它特征变形过大而受损或影响正常使用；
3. 上部结构其它要求。基础除应满足以上要求外，还应满足上部结构对基础结构的强度、刚度和耐久性的要求。

远古先民在史前建筑活动中，就已创造了自己的地基基础工艺。我国西安半坡村新石器时代遗址和殷墟遗址的考古发掘，都发现有土台和石础。著名的隋朝石工李春所建、现位于河北省赵县的赵州桥将桥台基础置于密实砂土层上，1300 多年来据考证沉降仅几厘米。

在地基基础常规设计仍作为主要设计方法的今天，随着计算机技术和数值分析手段的发展，传统的独立基础、条形基础、筏基和箱基的设计水平也得到不断的提高，考虑上部结构—基础—地基共同作用的设计方法的逐渐采用，使地基基础设计更加符合实际。不同的地基计算模型对同一基础计算结果的影响也得出了一些规律性的结论，指导设计人员根据不同的土质条件、上部结构和基础情况采用不同的地基计算模型。

桩具有悠久的历史。美国考古学家于 1981 年 1 月对在智利的蒙特维尔德附近的森林里发现的一间支承于木桩上的木屋，经过放射性 C_{14} 测定，发现其距今至少已有 12000 年至 14000 年。我国于 1973 年至 1978 年在浙江余姚河姆渡村发掘了新石器时代的文化遗址，出土了占地 4 万 m^2 的大量木结构遗存，其中有木桩数百根，研究表明距今约 7000 年。自人工挖孔桩于 100 年前在美国问世以来，灌注桩基础得到了极大的发展，出现很多新桩型，单桩承载力可达数千 kN，最大的灌注桩直径可达数米以上，深度已超过 100m。上海环球金茂大厦桩入土深度达到 80m 以上。预应力管桩、钢管桩、空心混凝土桩、劲性水泥土搅拌桩等新老桩型也在大量采用。桩基设计理论也得到较大的发展，特别是近年来，考虑桩和土共同承担荷载的复合桩基设计理论在多层建筑中得到了较为广泛的应用。

在桩基础的这一主要基础型式得到长足发展的同时，地下连续墙、沉井、墩基等基础型式在工业与民用建筑中也得到大量使用，设计理论也逐步完善。

国内外历史上有名的多次大地震导致了大量建筑物破坏，其中有不少是因基础抗震设计不当所致。经过大量地震震害调查和理论研究，逐渐总结发展出基础抗震设计的理论与方法。近年的几次地震又引起了人们对建筑物抗震的更加重视，对地震区的基础抗震设计提供了更为丰富的资料。

高层、超高层建筑一般具有较大的基础埋深，城市地下空间的开发利用，提出了与深基础工程相关的深、大基坑开挖与支护问题。在 20 世纪 30 年代，Terzaghi 等人就已开始研究基坑工程中的岩土工程问题，随着我国建设的长足发展，特别是进入 90 年代以来，对基坑工程的研究取得了很大进展，基坑开挖深度达到 30m 以上，出现了很多支护型式，设计理论也得到丰富与发展。由于基坑围护系统大多为临时性结构，使基坑工程具有较为鲜明的特点：一般安全储备小、风险较大；基坑工程具有很强的区域性，如北京地区地下水位低，边坡多采用土钉墙或喷锚围护措施，天津、上海地下水位接近地表，边坡一般采用桩或地下连续墙支护，而且必须考虑挡水措施；基坑工程具有很强的个性，即使在同一地区同样深度的基坑，由于基坑周围环境条件如建筑物、道路、地下管线的情况不同，其支护方案也可能完全不同；基坑工程是一个复杂的系统工程，涉及勘察、土力学中稳定、变形与渗流、钢筋混凝土理论、支护系统施工、土方开挖及使用过程中的监控等多方面因素，设计者必须掌握较为全面的知识。

土力学与基础工程的发展过程中也伴随出现了大量的工程事故，对这些事故产生原因的分析研究反过来也促进了土力学与基础工程理论的发展，给人们提供了宝贵的财富。这些事故不断提醒人们，由于基础工程为隐蔽工程，对基础工程的设计、施工必须充分调查、严格要求，稍一疏忽，就可能酿成事故。

建于 1941 年的加拿大特朗斯康谷仓 (Transcona Grain Elevator) 由 65 个圆筒仓组成，高 31m，宽 23m，其下为筏板基础。建成后初次贮存谷物，谷仓西侧突然陷入土中 8.8m，东侧上升 1.5m，仓身倾斜 27° 分析原因发现，其基础下埋藏有厚达 16m 的软粘土层，贮存谷物后谷仓基底压力达到 320kPa，超过了地基极限承载力，地基发生整体滑动，产生整体失稳破坏。这是一个发生强度问题的典型例子。

上海展览中心馆原称上海工业展览馆，位于上海市延安中路北侧，中央大厅为框架结构，采用箱形基础，箱基顶面至中央大厅顶部塔尖高为 96.63m，基础埋深 7.27m；两翼展览馆采用条形基础。地基为高压缩性淤泥质软土。采用经验方法和现场载荷试验确定地基承载力设计值，并据此进行了基础设计。展览馆于 1954 年开工，当年年底实测地基平均沉降量为 60cm，1957 年 6 月，中央大厅四周的沉降量最大处达到 146.55cm，1979 年 9 月中央大厅平均沉降量达到 160cm。由于沉降量过大，导致中央大厅与两翼展览馆的连接、室内外连接的水、暖、电管道断裂等，严重影响正常使用。分析其产生的原因发现，虽然根据有关规范和现场载荷试验确定了承载力设计值，但没有进行变形计算，仅保证了强度要求，而变形要求没有保证。这是一个典型的变形过大影响正常使用的工程实例。

二、基础工程的工作与研究方法

基础工程的分析与设计是建立在土力学基础之上的，涉及工程地质学、土力学、弹性力学、塑性力学、动力学、结构设计和施工等学科领域，内容广泛，综合性强。土建、水

利、桥梁、道路、港口、海洋等有关工程均涉及到基础工程。要保证一个基础工程的成功建造，必须遵循调查勘察、试验测定、分析计算、方案对比论证、监测控制、反演分析、修正调整的工作方法；一个复杂的、没有实例可借鉴的基础工程，应通过数学模拟（建立岩土力学模型进行数值分析）、物理模拟（定性的模型试验、以离心机桩的模型进行定量量测和其它物理模拟试验）和原体观测（对工程实体进行短期和长期观测）等综合手段进行研究。只要全面掌握了这些工作与研究方法和相关专业基础知识，就能正确的进行基础工程的分析与设计。

德国法兰克福展览会大厦地面以上高度 256m，共 56 层，为目前在欧洲按高度排名排在前几位的超高层建筑之一。设有 3 层地下室，埋深 14m，结构体系为筒中筒结构。采用桩筏基础，筏厚 6m。基底以下地基土为第三纪粘土，天然地基承载力设计值约为 392.8kPa，基底压力约为 491kPa，两者之比约为 0.8。按常规设计，可采用桩基础。本工程设计者在利用地下室深开挖补偿作用的同时，按筏底土体直接承担 67% 的荷载考虑，布桩方式采用中心部位桩较长、边缘部位桩较短的方式，角部桩长为 26.9m，边桩桩长为 30.9m，内部桩桩长为 34.9m，高达 256m 的超高层建筑仅用了 64 根钻孔灌注桩，直径为 $\phi 1300\text{mm}$ ，桩距为 5 倍~8 倍桩径，如图 1-1 所示。

加荷至总荷载的 30% 和 50% 时筏基沉降等值线如图 1-1 (c) 所示。当加荷至总荷载的 50% 时，实测桩的分担比为 75%，土分担比为 25%，此时筏基中心沉降量为 4cm，中心与边缘最大差异沉降 1.5cm，筏基挠曲率仅 2.55×10^{-5} 。可见，由于布桩方式区别于常规均匀布桩，而采用了内强外弱的布桩方法，使筏基沉降较为均匀，与常规均匀布桩产生的碟形沉降相比，筏基弯曲应力大大减小。由于利用了筏基下面土较高的承载力，取得了良好的经济效果。

该工程设计为桩基设计理论带来了新的思路和变革，设计者如果不掌握扎实的土力学与基础工程理论，不掌握调查勘察、试验测定、分析计算、方案对比论证、监测控制、反演分析、修正调整等科学工作方法和分析手段，是不可能提出这个非常先进的基础设计的。

天津市开发区办公大楼，主楼下基坑深度为 8.4m，裙房基坑北侧开挖深度 4.4m，东侧、南侧和西侧开挖深度为 3m。主楼深基坑采用灌注桩加钢筋混凝土水平支撑支护，裙房基坑采用水泥搅拌桩重力式挡土墙围护。对裙房基坑，地表以下 15m 深范围内为淤泥和淤泥土，设计重力式挡土墙时

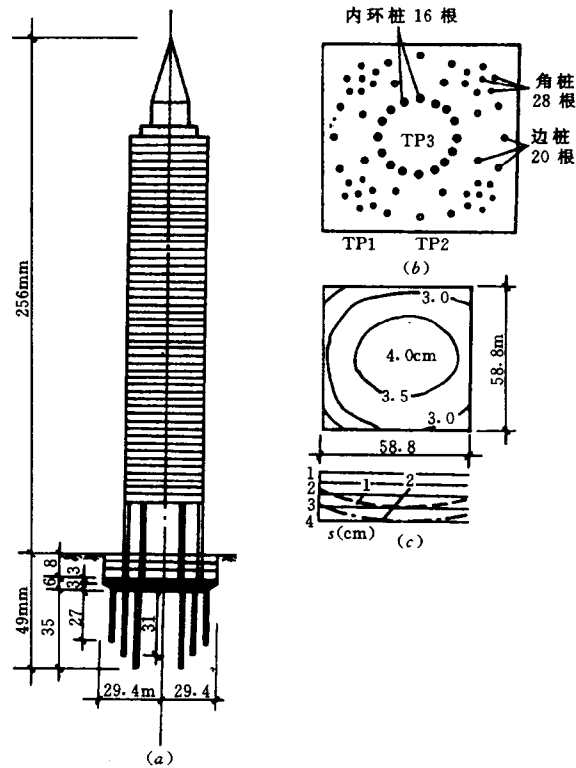


图 1-1 法兰克福展览大楼基础结构与沉降实测结果
(a) 结构与基础剖面图；(b) 桩位图；(c) 底板沉降等值线与剖面

采用了勘察报告提供的浅层土的平均抗剪强度指标： $c=10\text{kPa}$ ， $\varphi=9^\circ$ 。当基坑开挖到设计坑底标高时，基坑北侧挡土墙的变形观测结果表明，该段挡土墙西段呈如图 1-2 (a) 所示的位移，墙顶水平位移为 8cm，而东段挡土墙位移情况如图 1-2 (b) 所示，坑底处挡土墙的水平位移大于坑顶处挡土墙水平位移，坑外地面下沉、开裂，设计人员正确判断其为典型的边坡整体失稳的征兆，并提出了坑内实施反压、坑外大面积挖土卸荷的紧急措施，至

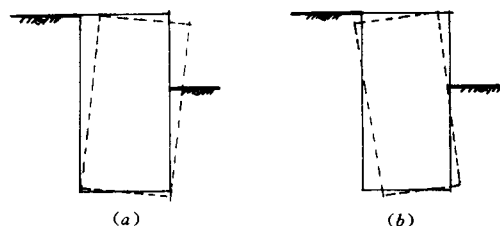


图 1-2 北侧挡土墙位移情况

(a) 西段挡土墙位移；(b) 东段挡土墙位移

第 3 天变形趋于稳定，避免了边坡滑坡事故。后经仔细查阅勘察报告，发现基坑北侧东段挡土墙处的一个勘察钻孔资料表明，此处 15m 深范围内土体的抗剪强度指标仅为： $c=6\text{kPa}$ ， $\varphi=5\sim 6^\circ$ ，经验算，此处挡土墙的边坡整体稳定安全系数小于 1。此例说明，仔细阅读勘察报告、在施工过程中进行严密的监测、在紧急情况下对事故发生可能性的迅速准确的判断是防止事故发生的保证。

基础工程是一门实践性非常强的课程，在基础工程的学习和工作实践中，要注意理论联系实际，通过实践不断提高理论水平和工作能力，只有具备扎实的理论和丰富的工程经验，才能在复杂的基础工程问题出现时提出正确的处理措施，提出经济合理、技术可靠的解决方案。

第二章 天然地基上浅基础的设计

第一节 概 述

进行地基基础设计时,必须根据建筑物的用途和安全等级、建筑布置和上部结构类建筑场地和地基岩土条件结合,施工条件以及工期、造价等各方面要求,合理选择地基基础方案,因地制宜、精心设计,以保证建筑物的安全和正常使用。

地基基础的设计和计算应该满足下列三项基本原则:

1. 对防止地基土体剪切破坏和丧失稳定性方面应具有足够的安全度;
2. 应控制地基变形量使之不超过建筑物的地基变形允许值;
3. 基础的型式、构造尺寸除应能适应上部结构、符合使用需要、满足地基承载力(稳定性)和变形要求外,还应满足对基础结构的强度、刚度和耐久性的要求。

一、地基基础的类型

如果地基是良好的土层或者上部有较厚的良好的土层时,一般将基础直接做在天然土层上,这种地基称为“天然地基”,如图 2-1 (a) 所示;加固上部土层,提高土层的承载力,再把基础做在这种经过人工加固后的土层上,这种地基称作人工地基,如图 2-1 (b) 所示。

由于基础的埋置深度不同和采用的施工方法不同,基础的结构和设计计算原理也有所

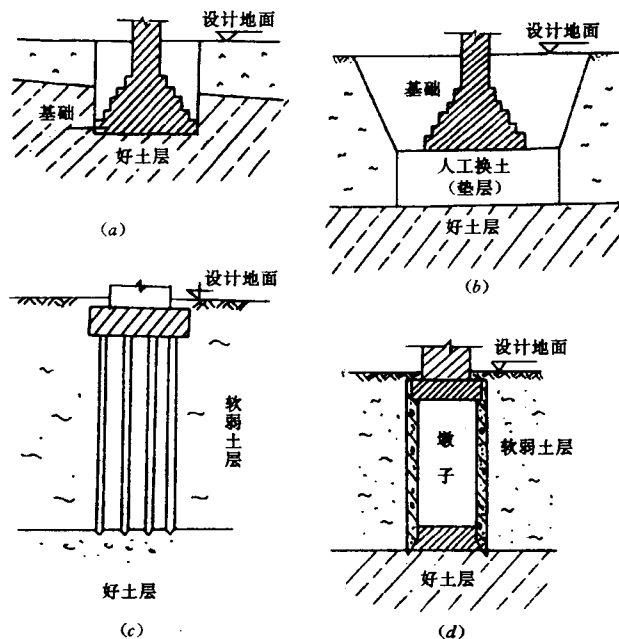


图 2-1 地基基础的类型

(a) 天然地基上的浅基础; (b) 人工地基上的浅基础; (c) 桩基础; (d) 沉井基础

不同。地基基础的方案可分为两类：浅基础和深基础。

1. 浅基础

位于天然地基上、埋置深度小于 5m 的一般基础（柱基或墙基）以及埋置深度虽超过 5m，但小于基础宽度的大尺寸基础（如箱形基础），统称为天然地基上的浅基础。

在桥梁结构中，对于无冲刷河流，埋置深度是指河底或地面至基础底面的距离；有冲刷河流是指局部冲刷线至基础底面的距离。

如果地基属于软弱土层（通常指承载力低于 100kPa 的土层），或者上部有较厚的软弱土层，不适于做天然地基上的浅基础时，也可将浅基础做在人工地基上。

常用的浅基础（如扩展基础、双柱联合基础等）体型不大、结构简单，在计算单个基础时一般不遵循上部结构与基础的变形协调条件，也不考虑地基与基础的相互作用，这种简化方法常用于一般连续基础的初步设计，特称为常规设计。对于复杂的、或大型的基础，其力学特性复杂，应在常规设计的基础上采用可行的方法考虑地基、基础以及上部结构的相互作用。

天然地基上的浅基础埋置深度较浅，用料较省，无需复杂的施工设备，在开挖基坑、必要时支护坑壁和排水疏干后对地基不加处理即可修建，工期短、造价低，因而设计时宜优先选用天然地基。当这类基础及上部结构难以适应较差的地基条件时才考虑采用大型或复杂的基础型式，如连续基础、桩基础或人工处理地基。

2. 深基础

位于地基深处承载力较高的土层上，埋置深度大于 5m 或大于基础宽度的基础，称为深基础，如桩基、地下连续墙、墩基和沉井等，如图 2-1 (c) (d) 所示。

由于深基础埋置较深，它可将其所承受的荷载相对集中地传递到地基深部，在设计计算中需考虑基础侧面土的影响。

深基础需采用某些特殊施工方法修建。

二、天然地基上的浅基础的设计内容和步骤

天然地基上的浅基础设计和计算应该兼顾地基和基础两方面进行，主要包括：

1. 天然地基设计

- (1) 选择基础埋置深度；
- (2) 确定地基承载力；
- (3) 验算地基变形和地基稳定性。

2. 基础设计

- (1) 选择基础类型和材料；
- (2) 计算基础内力，确定基础各部分尺寸、配筋和构造。

设计基础时，除了应保证基础本身有足够的强度和稳定性外，同时要满足地基的强度、稳定性和变形必须保持在容许范围内，因而基础设计又统称为地基基础设计。

浅基础设计的一般步骤如下：

①掌握拟建房屋场地的工程地质条件和地基勘察资料以及拟建桥位处河流的水文调查报告。如不良地质现象和发震断层、软弱下卧层的位置及厚度、各层土的分类及工程特性指标。地基勘察的详细程度与建筑物的安全等级以及场地的工程地质条件相适应。

②调查当地的工程材料、设备供应以及建设经验等。

③在了解以上资料的基础上，根据上部结构的特点和要求，确定基础类型和平面布置方案以及地基持力层和基础埋置深度。

④根据地基承载力确定基础底面的平面尺寸，进行必要的稳定性和变形的计算。

⑤以简化的、或考虑相互作用的方法进行基础结构的内力分析和截面计算以保证基础具有足够的强度、刚度和稳定性。

⑥绘制施工详图。

⑦编制工程预算书和工程设计说明。

三、地基的验算要求

根据地基损坏造成建筑物破坏后果（危及人的生命、造成经济损失和社会影响及修复的可能性）的严重性，《建筑地基基础设计规范》将建筑物分为三个等级，并规定了相应的验算要求。建筑物的安全等级见表 2-1。

建筑物的安全等级

表 2-1

安全等级	破坏后果	建筑类型
一级	很严重	重要的工业与民用建筑物：20 层以上的高层建筑；对地基变形有特殊要求的建筑物；单桩承受的荷载在 4000kN 以上的建筑物
二级	严重	一般的工业与民用建筑
三级	不严重	次要的建筑物

由于进行地基变形验算必须具备比较详细的勘探资料和土工试验结果，这对于建筑物安全等级不高的大量中、小型工程来说，往往不易办到。为此，《建筑地基基础设计规范》在制订各类土的地基承载力表时，已经考虑了一般中、小型建筑物在地质条件比较简单的情况下对地基变形的要求。所以，对不同等级地基的验算要求规定如下：

1. 一级建筑物及表 2-2 所列范围以外的二级建筑物，均应进行地基变形计算，要求建筑物的地基变形值不应大于地基变形允许值，并满足地基承载力的要求。

2. 对表 2-2 所列范围内的二级建筑物，如有下列情况之一时，仍应作变形验算：

可不作地基变形验算的二级建筑物

表 2-2

地基主要 受力层的 情况	地基承载力标准植 f_k (kPa)		$60 \leq f_k$	$80 \leq f_k$	$100 \leq f_k$	$130 \leq f_k$	$160 \leq f_k$	$200 \leq f_k$	
			< 80	< 100	< 130	< 160	< 200	< 300	
各土层坡度 (%)			≤ 5	≤ 5	≤ 10	≤ 10	≤ 10		
建筑 类型	砌体承重结构、框架结构 (层数)		≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 6	≤ 6	≤ 7	
	单层排 架结构 (6m 柱距)	单跨	吊车额定起重量 (t)	5~10	10~15	15~20	20~30	30~50	50~100
			厂房跨度 (m)	≤ 12	≤ 18	≤ 24	≤ 30	≤ 30	≤ 30
		多跨	吊车额定起重量 (t)	3~5	5~10	10~15	15~20	20~30	30~75
			厂房跨度 (m)	≤ 12	≤ 18	≤ 24	≤ 30	≤ 30	≤ 30
	烟囱	高度 (m)	≤ 30	≤ 40	≤ 50	50~75		75~100	
	水塔	高度 (m)	≤ 15	≤ 20	≤ 30	≤ 30		≤ 30	
		容积 (m ³)	≤ 50	50~100	100~200	200~300	300~500	500~1000	

注：①地基主要受力层系指条形基础底面下深度为 $3b$ (b 为基础底面宽度)，单独基础下为 $1.5b$ ，且厚度均小于 $5m$ 的范围（二层以下的民用建筑除外）；

②地基主要受力层中如有承载力标准值小于 30kPa 的土层时，表中砌体承重结构的设计，应符合《建筑地基基础设计规范》第七章的有关要求；

③表中砌体承重结构和框架结构均指民用建筑；对于工业建筑可按厂房高度、荷重情况折合成与其相当的民用建筑层数；

④表中吊车额定起重量、烟囱高度和水塔容积的数值系指最大值。

①地基承载力标准值小于 130kPa，且体型复杂的建筑；

②在基础上及其附近有地面堆载或相邻基础荷载差异较大，引起地基产生过大的不均匀沉降时；

③软弱地基上的相邻建筑如距离过近，可能发生倾斜时；

④地基内有厚度较大或厚薄不均的填土，其自重固结未完成时。

3. 不属于上述范围内的二级建筑物和三级建筑物，只需验算地基承载力，可不再进行变形验算，即满足地基承载力的要求也就满足了变形的要求。

4. 对经常受水平荷载作用的高层建筑和高耸结构，以及建造在斜坡上的建筑物和构筑物，尚需验算其稳定性。

第二节 浅基础的类型

一、按基础刚度分类

根据基础的刚度可把浅基础分为刚性基础和扩展基础。

（一）刚性基础

刚性基础是由砖、毛石、素混凝土和灰土等材料做成的基础。

1. 刚性基础的刚性角

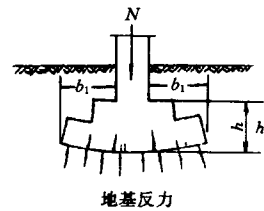


图 2-2 刚性基础受力破坏示意图

如图 2-2 所示，当基础承受上部结构传来的荷载时，在地基反力的作用下，基础的挑出部分相当于承受荷载的悬臂梁，基础内部将产生弯曲拉应力和剪应力。对于砖、毛石、素混凝土和灰土等材料，它们都具有较好的抗压性能，但抗拉、抗剪强度并不高，为了防止弯曲破坏，必须保证基础内的拉应力和剪应力不超过相应强度的设计值，这就要求基础有一定的高度，使弯曲所产生的拉应力不会超过材料的抗拉强度。设计时可通过构造措施来保证基础挑出部分不产生裂缝或破坏，即限制台阶的宽高比，使基础每个台阶的宽度与其高度之比不超过规定的容许值。各种材料所容许的宽高比值见表 2-3。

刚性基础台阶宽高比的容许值

表 2-3

基础材料	质量要求	台阶宽高比的容许值		
		$p \leq 100$	$100 < p \leq 200$	$200 < p \leq 300$
混凝土基础	C10 混凝土	1 : 1.00	1 : 1.00	1 : 1.00
	C7.5 混凝土	1 : 1.00	1 : 1.25	1 : 1.50
毛石混凝土基础	C7.5~C10 混凝土	1 : 1.00	1 : 1.25	1 : 1.50

续表

基础材料	质量要求		台阶宽高比的容许值		
			$p \leq 100$	$100 < p \leq 200$	$299 < p \leq 300$
砖基础	砖不低于 MU7.5	M5 砂浆	1 : 1.50	1 : 1.50	1 : 1.50
		M2.5 砂浆	1 : 1.50	1 : 1.50	
毛石基础	M2.5~5 砂浆		1 : 1.25	1 : 1.50	
	M1 砂浆		1 : 1.50		
灰土基础	体积比为 3 : 7 或 2 : 8 的 灰土, 其最小干密度: 粉土 1.55t/m^3 ; 粉质粘土 1.50t/m^3 ; 粘土 1.45t/m^3		1 : 1.25	1 : 1.50	
三合土基础	体积比 1 : 2 : 4~1 : 3 : 6 (石灰 : 砂 : 骨料), 每层约虚 铺 220mm, 夯至 150mm		1 : 1.50	1 : 2.00	

注: ① p 为基础底面处的平均压力, kPa;

② 阶梯形毛石基础的每阶伸出宽度, 不宜大于 200mm;

③ 当基础由不同材料叠合组成时, 应对接触部分作抗压验算;

④ 对混凝土基础, 当基础底面处的平均压力超过 300kPa 时, 尚应按下式进行抗剪验算。

由图 2-3 可看出: 台阶宽高比的比值就是角度 α 的正切值。与容许宽高比所相应的角度 $\alpha_{\max}$ 称做基础的刚性角。

在设计时要求自上部砌体的边缘处的垂线与基底边缘的连线间的夹角 α 小于刚性角 $\alpha_{\max}$ 。此时基础的相对高度都比较大, 不需配置钢筋且基础几乎不发生挠曲变形, 所以称这种基础为刚性基础。

在房屋建筑中当持力层的地基强度较低时, 则需扩大基础面积, 而为了满足台阶宽高比的允许值, 又不得不增大基础埋深, 这样会给施工带来麻烦, 因此刚性扩大基础一般只可用于六层和六层以下 (三合土基础不宜超过四层) 的民用建筑和砌体承重的厂房。

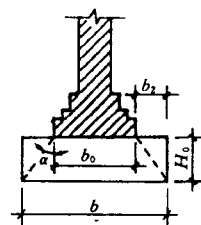


图 2-3 刚性基础的断面设计

在桥梁设计中, 只要地基强度能满足要求, 刚性基础是桥梁和涵洞的首选基础形式。它的主要缺点是自重较大, 当持力层为软土时, 则需对地基进行处理或加固后才能采用。

桥梁基础中常用材料的刚性角按下面的数值采用:

砖、片石、块石、粗料石砌体当用 5 号以下砂浆砌筑时 $\alpha_{\max} = 30^\circ$;

砖、片石、块石、粗料石砌体当用 5 号以上砂浆砌筑时 $\alpha_{\max} = 35^\circ$;

混凝土浇筑时 $\alpha_{\max}$ 为 $30^\circ \sim 45^\circ$ 。

2. 刚性基础常用材料

基础埋在土中, 经常受潮, 容易受侵蚀, 而且破坏了也不容易发现和修复, 所以必须保证基础的材料有足够的强度和耐久性, 因此对于基础的材料有一定的要求。

(1) 房屋结构

① 砖 砖砌基础所用砖和砂浆的标号是由地基土的潮湿程度和地区的寒冷程度决定的。按照《砌体结构设计规范》(GBJ3-88) 的规定, 地面以下或防潮层以下的砖砌体所用

的材料标号不得低于表 2-4 所列数值。

基础用砖、石材及砂浆最低标号

表 2-4

地基的潮湿程度	粘土砖		石材	白灰、水泥混合砂浆	水泥砂浆
	严寒地区	一般地区			
稍潮湿的	MU10	MU7.5	MU20	M2.5	M2.5
很潮湿的	MU15	MU10	MU20	M5	M5
含水饱和的	MU20	MU15	MU30	—	M5

用砖砌筑基础时，由于砖的尺寸规则，容易砌成各种形状。砖基础大放脚的砌法有两种：一种是按台阶的宽高比 1/1.5（图 2-4 a）；另一种按台阶的宽高比 1/2（图 2-4 b）。

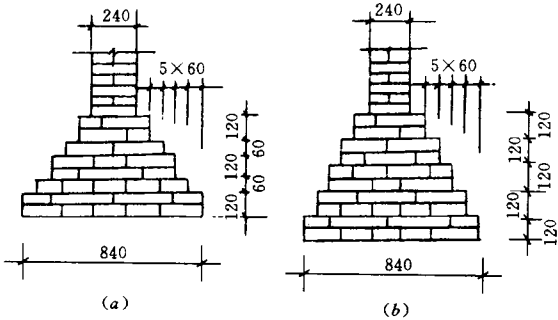


图 2-4 砖基础

(a) $bt/h=1/1.5$; (b) $bt/h=1/2$

为了得到一个平整的槽底，便于砌砖，在槽底可先浇注 100~200mm 厚的素混凝土垫层。对于低层房屋也可在槽底打两步（300mm）三七灰土，代替混凝土垫层。砌筑时，在地下水位以上可用混合砂浆，水下则应用水泥砂浆。为了防止地下水的侵蚀，可在砖基础中，在室内地面以下 50mm 左右处铺设防潮层，防潮层可以是掺有防水剂的 1:3 的水泥砂浆，厚 20~30mm；也可铺设沥青油毡。

②石料 料石（经过加工，形状规则的石块）、毛石和大漂石，具有很高的强度和抗冻性，是基础的良好材料。石料和砂浆的标号要求见表 2-4。

砌筑用的石料的厚度不宜小于 150mm，台阶形的砌石基础每台阶至少要两层砌石，因此每个台阶的高度不小于 300mm，为了保证上一层砌石的边能压紧下一层砌石的边块，每个台阶伸出的长度不应大于 150mm，则实际的刚性角小于允许的刚性角（图 2-5）。

③素混凝土 当荷载较大、或要减小基础的构造高度时（混凝土的允许刚性角大于砖和石料的刚性角），可采用强度等级较低的混凝土基础。但混凝土基础的造价稍高，耗水泥量较大，较多用于地下水位以下的基础及垫层。标号一般采用 C7.5~C10。为节约水泥用量，也可在混凝土中掺入 20%~30%毛石，称做毛石混凝土。

素混凝土基础可以做成台阶形（图 2-6 a、b）或梯形断面（图 2-6 c）。做成台阶形时，总高度在 350mm 以内作一层台阶（图 2-6 a）；总高度在 350~900mm 时，做成两层台阶（图 2-6 b）；总高度大于 900mm 时，做成三层台阶，每层台阶的高度不宜大于 500mm。

④灰土 在我国的华北和西北地区，气候比较干燥，广泛采用灰土作基础。灰土一般是用石灰和土按三分石灰和七分粘性土（体积比）配制而成，也称为三七灰土。石灰以块状生石灰为宜，经消化 1~2 天后焖成粉末，并过 5~10mm 筛子。土料宜用粉制粘土，不要太湿或太干。简易的判别方法是拌和后的灰土要“捏紧成团，落地开

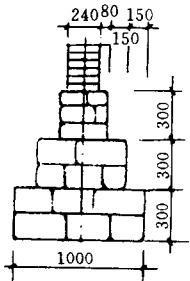


图 2-5 砌石基础

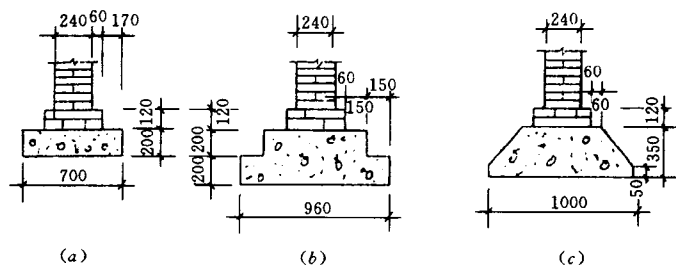


图 2-6 素混凝土基础

(a) 一层台阶；(b) 两层台阶；(c) 梯形断面

花”。灰土的强度与夯实的程度关系很大，要求施工后达到干容重不小于 $14.5 \sim 15.5 \text{ kN/m}^3$ 。施工时常采用每层虚铺 $220 \sim 250 \text{ mm}$ ，夯实后成 150 mm 来控制，称为一步灰土。灰土一般与砖、砌石、混凝土等材料配合使用，作在基础的下部，厚度通常用 $300 \sim 450 \text{ mm}$ (2步或3步)，台阶宽高比为 $1/1.5$ 。由于基槽边角处灰土不容易夯实，所以灰土的施工宽度应比计算宽度每边放出 50 mm 以上。

由于灰土在水中硬化慢、早期强度低、抗水性差以及早期的抗冻性差，所以灰土作为基础材料，一般只用于地下水位以上。在我国南方则用三合土基础，即在灰土中加入适量的水泥，可使强度和抗水性提高。

(2) 桥梁结构

在桥梁结构中，刚性基础常用的材料有：

①混凝土 它的优点是抗压强度高、耐久性好，可浇筑成任意形状，其标号一般不宜低于 15 号。对于大体积的混凝土基础，为了节约水泥用量可掺入不多于 25% 的片石（称为片石混凝土），但片石的强度不应低于 25 号，也不应低于混凝土的标号。

②粗石料和片石 采用粗石料砌筑桥梁或涵洞基础时，要求石料外形大致方整，厚度约为 $20 \sim 30 \text{ cm}$ ，其宽度和长度分别为厚度的 1.0 至 1.5 倍和 2.5 至 4.0 倍。石料标号不应小于 25 号，砌筑时应错缝，一般采用 5 号或 2.5 号砂浆砌筑。

③砖 在缺乏石料的地区，它仅用于小桥和涵洞的基础。要求砖的标号不应小于 7.5 号。砖的特点是可砌成任何形状的砌体，但其抗水腐蚀性（特别是盐碱地区）和抗冻性都比较差，若将基础四周最外层用浸透沥青的砖砌筑，可增加它的抗腐蚀能力。

(二) 扩展基础

当基础的高度不能满足刚性角的要求时，可以作成钢筋混凝土基础，称为扩展基础。图 2-7 为墙下钢筋混凝土扩展基础的示意图。

扩展基础的抗弯和抗剪性能良好，可在竖向荷载较大、地基承载力不高以及承受水平力荷载等情况下使用。由于这类基础的高度不受台阶宽高比的限制，故适宜于需要“宽基浅埋”的场合下采用。例如当软土地基的表层具有一定厚度的所谓“硬壳层”、并拟利用该层作为持力层时更可考虑采用这类基础型式。

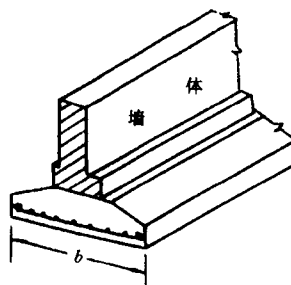


图 2-7 墙下钢筋混凝土扩展基础示意图

对于一般的钢筋混凝土扩展基础,混凝土的标号应不低于C15。柱下扩展基础和墙下扩展基础一般做成锥形(图 2-8 a)和台阶形(图 2-8 b)。锥形基础的边缘高度通常不小于 200mm,锥台坡度 $i \leq 1:3$ 。台阶形基础每级台阶高度为 300~500mm。基础下设素混凝土垫层,厚度不小于 100mm。底板的受力钢筋直径不宜小于 8mm,间距不大于 200mm。当有垫层时,保护层厚度不宜小于 35mm,没有垫层时不宜小于 70mm。根据基础的受力情况,按钢筋混凝土计算方法确定钢筋的配置。

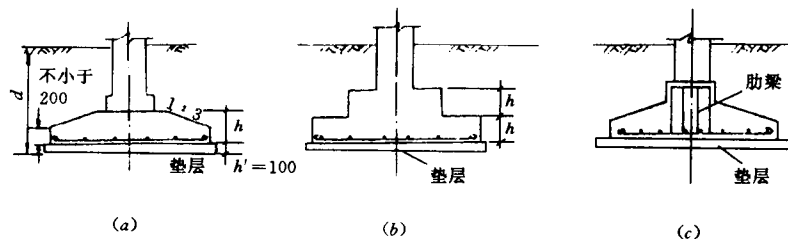


图 2-8 扩展基础的形式

(a) 锥形; (b) 台阶形; (c) 有肋的扩展基础

对于墙下扩展基础,当地基不均匀时,还要考虑墙体纵向弯曲的影响。这种情况下,为了增加基础的整体性和加强基础纵向抗弯能力,墙下扩展基础可采用有肋的基础型式(图 2-8 c),肋部配有足够的纵向钢筋和箍筋。

图 2-9 为柱下钢筋混凝土柔性基础的一般构造图,其中 (a) 和 (b) 为现浇柱基础, (c) 为预制柱(杯口)基础。

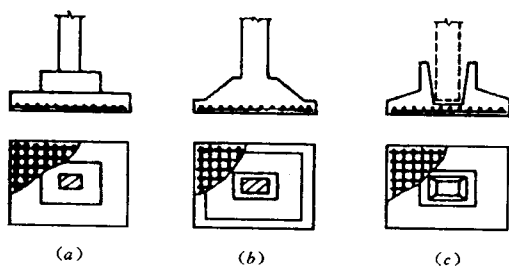


图 2-9 柱下钢筋混凝土柔性基础

(a) 阶形基础; (b) 锥形基础; (c) 杯口基础

如图 2-10 所示,当按直线分布假定计算基底反力时,因为基础及其以上土的重量引起的反力(G)与其本身的重量正好抵消,不会引起基础的剪力和弯矩,故一般不计基础及其以上土的重量所引起的反力,而仅计算作用于基础的竖向力(F)和弯矩(M)引起的基底净反力。

如图 2-10 (b) 中, P_p 为任意截面 I-I 处的净反力, p_{pmax} 和 p_{pmin} 分别为基础边缘处净反力的最大值和最小值。

钢筋混凝土扩展基础高度和变阶处的高度应按现行《混凝土结构设计规范》进行冲切和受剪承载力计算确定。锥形基础的边缘高度不宜小于 200mm;阶形基础每阶高度宜为 300~500mm。

计算底板受力钢筋时,可按下列简化方法求得基础任意截面的弯矩。

如图 2-10 (c) 所示,对于矩形基础,当台阶宽高比 $\tan\alpha \leq 2.5$, 且荷载偏心距 $e \leq b/6$ 时,任意截面 I-I 及 II-II 的弯矩可按下列公式计算:

$$M_I = \frac{1}{12} a_1^2 (2l + a') (P_{pmax} + P_p) \quad (2-1)$$

$$M_1 = \frac{1}{48}(l - a')^2(2b + b')(P_{\text{pmax}} + P_{\text{pmin}}) \quad (2-2)$$

式中 M_1 、 M_1 ——截面 I-I 及 II-II 处的弯矩设计值。

对于墙基础，任意截面 I-I 的弯矩，可按式 (2-1) 取 $l=a'=1\text{m}$ 计算，其最大弯矩截面与基础边缘的距离 a_1 取 b_1 (当墙体材料为混凝土时) 或取 $b+0.06$ (m) (当为砖墙且放脚不大于 1/4 砖长时)。

钢筋混凝土扩展基础的混凝土的强度等级不宜低于 C15。底板受力钢筋的最小直径不宜小于 8mm，间距不宜大于 200mm。当有垫层时，钢筋保护层的厚度不宜小于 35mm；无垫层时，不宜小于 70mm。

二、按构造分类

浅基础按构造类型可分为四种：

1. 单独基础：房屋建筑中，柱的基础一般都是单独基础，如图 2-11 所示。
2. 条形基础：房屋建筑中，墙的基础通常连续设置成长条形，称为条形基础，如图 2-12 所示。

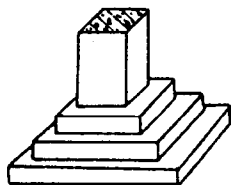


图 2-11 柱下单独基础

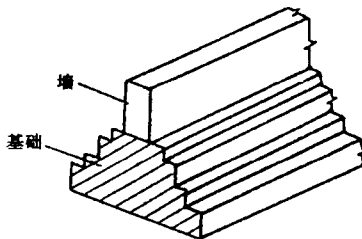


图 2-12 墙下条形基础

如果柱下的荷载较大而土层的承载力较低，做单独基础需要很大的面积时，可采用柱下条形基础 (图 2-13)。如地基土很软，基础在宽度方向需进一步扩大面积，同时又要求基础具有空间的刚度来调整不均匀沉降时，可在柱下纵横两个方向均设置条形基础，这便成为柱下交叉梁基础 (图 2-14)。

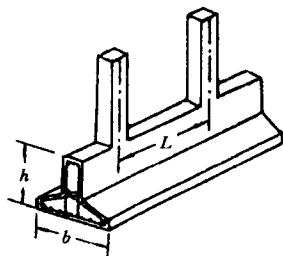


图 2-13 柱下条形基础

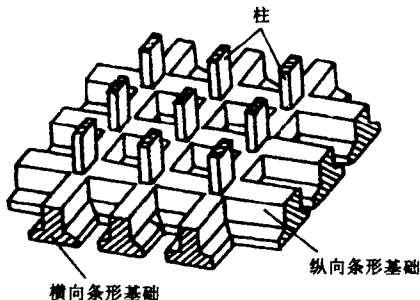


图 2-14 柱下交叉梁基础

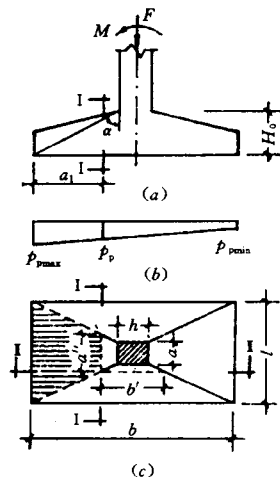


图 2-10 矩形基础底板截面弯矩计算